

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
AMBIENTAL**



Cuantificación de carbono almacenado en un sistema
agroforestal de café (*Coffea arabica* L.), asociado con guaba
(*Inga edulis* sp.), distrito Jaén – Cajamarca

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL**

Autor(es) : Bach. José Carlos Silva López
: Bach. Lilibeth Olaya Serrano

Asesor : Dr. Santos Clemente Herrera Díaz

JAEN – PERÚ, AGOSTO, 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 26 de Agosto del año 2019; siendo las 12:05 horas, se reunieron los Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente Dr. JUAN MANUEL GARAY ROMÁN
Vocal Mg. CANDY LISBETH OCAÑA ZÚÑIGA

Para evaluar la Sustentación del INFORME FINAL DE TESIS; titulado: ““CUANTIFICACIÓN DE CARBONO ALMACENADO EN UN SISTEMA AGROFORESTAL DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) ASOCIADO CON GUABA (*Inga edulis* sp.), DISTRITO DE JAÉN - CAJAMARCA”, presentado por los Bachilleres José Carlos Silva López y Lilibeth Olaya Serrano de la Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, los Miembros del Jurado Evaluador acuerdan:

(☒) Aprobar () Desaprobar (☒) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

Excelente	18, 19, 20	()
Muy bueno	16, 17	()
Bueno	14, 15	(<input checked="" type="checkbox"/>)
Regular	13	()
Desaprobado	12 o menos	()

Siendo las 1:00 pm horas del mismo día, los Miembros del Jurado Evaluador concluyen el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Dr. JUAN MANUEL GARAY ROMÁN
Presidente Jurado Evaluador

Mg. CANDY LISBETH OCAÑA ZÚÑIGA
Vocal Jurado Evaluador

**CUANTIFICACIÓN DE CARBONO ALMACENADO EN UN SISTEMA
AGROFORESTAL DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.), ASOCIADO CON GUABA
(*Inga edulis* sp.), DISTRITO JAÉN – CAJAMARCA**



Bach. José Carlos Silva López

TESISTA



Bach. Lilibeth Olaya Serrano

TESISTA

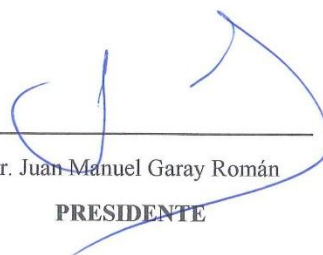


Dr. Santos Clemente Herrera Díaz

ASESOR

**INFORME FINAL DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y
AMBIENTAL**

Aprobado por el siguiente jurado:



Dr. Juan-Manuel Garay Román

PRESIDENTE



Mg. Candy Lisbeth Ocaña Zúñiga

VOCAL

INDICE

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
I. INTRODUCCIÓN.....	11
II. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo general	14
2.2. Objetivos específicos.....	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1. Materiales de campo.....	15
3.2. Materiales de laboratorio.....	15
3.3. Metodología.....	16
3.3.1. Ubicación.....	16
3.3.2. Recopilación de información	16
3.3.3. Población, muestra y muestreo	17
3.3.4. Delimitación de la parcela.....	18
3.3.5. Metodología para calcular la materia seca la biomasa muerta.....	19
3.3.6. Metodología para estimar la biomasa aérea total	20
3.3.7. Metodología para determinar el carbono almacenado en la biomasa (CAB).	
3.3.8. Metodología para cuantificar el carbono fijado en el suelo	22
IV. RESULTADOS	26
4.1. Materia seca de la hojarasca ($MS_{hojarasca}$).....	26
4.2. Estimación de la biomasa aérea total.	27
4.2.1. Cálculo de la biomasa aérea del café ($Y_{café}$).	27
4.2.2. Cálculo de la biomasa aérea de la guaba (BA_{guaba}).....	27
4.2.3. Cálculo de la biomasa aérea total (BAT)	28

4.3. Determinación del carbono almacenado en la biomasa	29
4.3.1. Cálculo de la biomasa final (B_{FINAL}).	29
4.3.2. Cuantificación del carbono almacenado en la biomasa (CAB).	29
4.4. Cuantificación del carbono fijado en el suelo	30
4.4.1. Cálculo de la densidad aparente del suelo (D_a).	30
4.4.2. Porcentaje de carbono orgánico contenido en el suelo.....	31
4.4.3. Cálculo del carbono almacenado en el suelo (CFS)	31
4.5. Carbono almacenado en el sistema agroforestal.	32
V. DISCUSIÓN.....	33
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	37
6.1. Conclusiones	37
6.2. Recomendaciones.....	37
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
AGRADECIMIENTO	43
DEDICATORIA	44
ANEXOS	45

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Cálculo de las poblaciones por hectárea.....	17
Tabla 2.	Cálculo de la muestra de plantas de café.....	17
Tabla 3.	Promedio de la materia seca de la hojarasca contenido en el marco de 0.25m ² .	26
Tabla 4.	Estimación de la biomasa aérea total en t/h.....	28
Tabla 5.	Cantidad de la biomasa final en t/ha.....	29
Tabla 6.	Concentración del carbono almacenado en la biomasa en tC/ha	29
Tabla 7.	Promedio de la densidad aparente	30
Tabla 8.	Resultados de las muestras analizadas por el método de Walkley Black.....	31
Tabla 9.	Cálculo del carbono fijado en el suelo en tC/ha.....	31
Tabla 10.	Cuantificación del carbono total almacenado en la hectárea evaluada.	32
Tabla 11.	Coordenadas UTM de los vértices que limitan la parcela evaluada.....	45
Tabla 12.	Mediciones del diámetro de las plantas de café registradas en campo.....	46
Tabla 13.	Mediciones del DAP de las plantas de guaba tomadas en campo.....	58
Tabla 14.	Datos y coordenadas tomadas en campo, durante el muestreo de la hojarasca..	59
Tabla 15.	Datos de campo del muestreo de suelo para calcular la densidad aparente.	60
Tabla 16.	Datos del muestreo del suelo para la aplicación del método de Walkley Black	60

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Croquis de ubicación de la parcela “Mirasol Café”	16
Figura 2. Mapa de delimitación y distribución de la parcela investigada	18
Figura 3. Representación gráfica de la biomasa aérea total.	28
Figura 4. Gráfica representativa del carbono almacenado en cada componente evaluado	30
Figura 5. Gráfica representativa del carbono almacenado en el sistema agroforestal.....	32
Figura 7. Sistema agroforestal de café asociado con guaba	61
Figura 8. Delimitación de la parcela agroforestal "Mirasol Café"	61
Figura 9. Plano perimétrico del predio “Mirasol café”	62
Figura 10. Medición del D de las plantas de café a 15 cm sobre el suelo	63
Figura 11. Medición del DAP de las plantas de guaba a 1.30 m sobre el suelo.....	63
Figura 12. Arrojo al azar del marco muestreador de 0.25 m ² para recolectar la muestra de hojarasca	64
Figura 13. Recolección de la hojarasca dentro del marco muestreador	64
Figura 14. Obteniendo el peso fresco de la sub muestra (200g) y el PFT	65
Figura 15. Excavación del suelo para muestreo de manera horizontal y calcular la densidad aparente.....	65
Figura 16. Recolección de la muestra del suelo para el cálculo de la densidad aparente....	66
Figura 17. Obtención de la muestra de suelo, usando un cilindro de 100 cm ³	66
Figura 18. Muestreo del suelo a 20 cm de profundidad, para ser evaluado por el método de Walkley Black.	67
Figura 19. Muestra de suelo obtenida a 20 cm de profundidad.....	67
Figura 20. Rotulando los sobres de papel para secar las muestras de suelo y hojarasca en la estufa obtenidas en campo, en el laboratorio de la UNJ.....	68
Figura 21. Cambio de muestras traídas desde campo a bolsas de papel en el laboratorio de la UNJ.	68
Figura 22. Secado en la estufa de las muestras de hojarasca a 60 °C, hasta obtener peso constante, en el laboratorio de la UNJ.	69
Figura 23. Secado en la estufa de las muestras para el cálculo de la densidad aparente a 105 °C, hasta obtener peso constante, en el laboratorio de la UNJ.	69
Figura 24. Secado en estufa de las muestras de suelo para ser evaluado por el método de Walkley Black, a 55 °C durante 3 días, en el laboratorio de la UNJ.....	70

Figura 25. Peso de una muestra de hojarasca (previo tareo), luego de obtener el peso constante, en el laboratorio de la UNJ.	70
Figura 26. Peso de una muestra de suelo (previo tareo), para calcular la densidad aparente, luego de obtener el peso constante, en el laboratorio de la UNJ.	71
Figura 27. Tamizado de las muestras de suelo (2 mm), luego de ser secado, para ser evaluado por el método de Walkley Black	71
Figura 28. Resultados de la muestra de suelo analizada por el método de Walkley Black, en el laboratorio Oikoslab S.A.C.....	71
Figura 29. Reactivos utilizados para analizar las muestras de suelo mediante el método de Walkley Black, en el laboratorio de Oikoslab S.A.C	71
Figura 30. Procedimiento para la digestión del carbono, en el laboratorio de Oikoslab S.A.C	71
Figura 31. Valoración del exceso de dicromato, en el laboratorio de Oikoslab S.A.C	71
Figura 32. Todas las muestras de suelo y hojarasca recolectadas en campo.....	71

RESUMEN

El trabajo de investigación denominado “Cuantificación de carbono almacenado en un sistema agroforestal de café (*Coffea arabica* L.), asociado con guaba (*Inga edulis* sp.)”, se desarrolló en la parcela agroforestal de café denominada “Mirasol Café” en el centro poblado San Miguel de las Naranjas, distrito y provincia de Jaén, del departamento de Cajamarca, con la finalidad de obtener información sobre ¿cuánto será el carbono almacenado en un sistema agroforestal –SAF– de café (*Coffea arabica* L.), asociado con guaba (*Inga edulis* sp.)?. Para ello se usó muestreo probabilístico aleatorio, donde se cuantificó el carbono almacenado en la biomasa aérea de los árboles de café y guaba considerando la medición del diámetro promedio, aplicando ecuaciones alométricas; se determinó el carbono almacenado en la necromasa (hojarasca) basándose en la metodología ICRAF 2009, y se cuantificó el carbono fijado en el suelo basándose en las metodologías trabajadas por Díaz (2015) y Gelman *et al.* (2011) aplicando el método de Walkley Black (en el laboratorio Oikoslab S.A.C). Los resultados mostraron que la concentración de carbono según los componentes evaluados en el sistema agroforestal fue: 22.80 tC/ha almacenado en la biomasa aérea, 6.34 tC/ha almacenado en la hojarasca y 104.13 tC/ha fijado en el suelo; determinándose un total de 133.27 tC/ha almacenado en el SAF.

Palabras clave: Sistema agroforestal, *Coffea arabica* L., *Inga edulis* sp., carbono almacenado.

ABSTRACT

The research entitled “Quantification of carbon stored in an coffee (*Coffea arabica* L.) agroforestry system, associated with guaba (*Inga edulis* sp.)”, was developed in the coffee agroforestry plot called “Mirasol Café” in the small town of San Miguel de las Naranjas, district and province of Jaén, in the region of Cajamarca with the intention of obtaining information about ¿How much carbon will be stored in a coffee (*Coffea arabica* L.) agroforestry system –AFS–, associated with guaba (*Inga edulis* sp.)? To this purpose, random probabilistic sampling was carried out, where the carbon stored in the aerial biomass of coffee and guaba trees was quantified considering the measurement of the average diameter and applying allometric equations. Carbon stored in the necromass (fallen leaves) was determined based on ICRAF 2009 methodology and, the carbon fixed in the soil was quantified based on the methodologies worked by (Díaz, 2015) and (Gelman et al., 2011) applying the method of Walkley Black (in the laboratory Oikoslab S.A.C). The results showed that carbon concentrations according to the components evaluated in the agroforestry system was: 22,80 tC/ha stored in the aerial biomass, 6,34 tC/ha stored in the fallen leaves and 104,13 tC/ha fixed in the soil; determining a total of 133,27 tC/ha stored in the AFS.

Keywords: Agroforestry system, *Coffea arabica* L., *Inga edulis* sp., stored carbon.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una gran preocupación por parte de la comunidad local, mundial y en especial para profesionales encargados del cuidado del ambiente; el cambio climático asociado al aumento potencial de la temperatura superficial del planeta, es uno de los problemas ambientales más severos que enfrenta el presente siglo. La contaminación atmosférica fue responsable en 2012 de la muerte de unos 3,7 millones de personas a nivel global (OMS, 2014).

El clima global está siendo alterado significativamente debido a un progresivo aumento de las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), tales como el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), clorofluorocarbonos y vapor de agua, que contribuyen a un incremento global de la temperatura. Las emisiones anuales de GEI, crecieron alrededor de 80% entre 1970 y 2004, pues pasaron de 21 a 38 Gt (IPCC 2007). Sin embargo, el mayor incremento percibido se dio durante el período 1995-2004 (0,92 Gt de CO_2 por año), en tanto que en el periodo 1970-1994 el incremento fue de 0,43 Gt de CO_2 por año (Cerdeira *et al.*, 2013).

En octubre de 2018, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) publicó un informe especial sobre los impactos del calentamiento global a 1,5°C, encontrando que limitar el calentamiento global a este nivel requerirá cambios rápidos, de gran alcance y sin precedentes en todos los aspectos de la sociedad, según mencionó el IPCC en su nueva evaluación (NACIONES UNIDAS, 2018).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha alertado de un aumento de la contaminación ambiental en la mayoría de las ciudades del mundo ya que casi el 90 por ciento de las urbes que miden su polución superan los niveles de calidad que establece el ONU; estudios sobre calidad del aire urbano, en la que participan un total de 1.600 ciudades de 91 países 500 más que en el anterior recuento, realizado en 2011, y ha demostrado que actualmente sólo el 12%

de las personas que viven en estas ciudades respiran aire limpio y alrededor de la mitad está expuesta a niveles de contaminación 2,5 veces mayores a los que establece (OMS, 2014).

Una forma de mitigar el cambio climático es la reducción de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera mediante el establecimiento de sistemas agroforestales (SAF), estos sistemas consisten básicamente en la incorporación de árboles a un sistema de producción que son capaces de capturar el CO₂ de la atmósfera y almacenarlo en la biomasa aérea y subterránea y en el suelo, donde se almacena por largos periodos de tiempo (Cerdeira *et al.*, 2013).

La implementación de nuevos sistemas agroforestales en tierras con contenidos bajos en carbono y/o la conservación de coberturas ya existentes, generan efectos positivos en la mitigación del cambio climático, a través de la fijación CO₂ de la atmósfera en la biomasa de los sistemas agroforestales (GIZ, 2011).

Casanova *et al.* (2011) afirma que el potencial de almacenamiento de carbono de los SAF oscila entre 12 a 228 t/ha, teniendo mayor potencial en las zonas del trópico húmedo y tienen la capacidad de almacenar hasta 70 t/ha en la vegetación (biomasa aérea) y 25 t/ha en los primeros 20 cm de profundidad del suelo.

En un estudio realizado en la Amazonia peruana, reportó que la mayor cantidad de C se encontraba en el suelo. Los sistemas como huerto casero, café bajo sombra y silvopastura almacenaron 196, 193 y 120 mg C/ha, respectivamente, de los cuales más de 58 % se ubicaba en el suelo (Espinoza *et al.*, 2012).

En los últimos años, los productores de café en el Perú vienen experimentando el impacto negativo que el cambio climático genera sobre su capacidad productiva y capital natural; ante ello es necesario tomar en cuenta medidas de adaptación y mitigación para reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (Ministerio de Agricultura y Riego, 2008); he ahí nace el interés de desarrollar el presente proyecto de investigación como una alternativa para mejorar las fuentes de captura de carbono; debido a que el café es el principal producto agrícola de exportación en el Perú, este cafetal se cultiva en un total de 10 zonas cafetaleras que cuentan con climas y alturas distintas y la superficie en donde se siembra el café ocupa una extensión de 230 mil hectáreas (Signature, 2017).

En la provincia de Jaén, la producción de café es un cultivo de alta importancia en la sociedad, es el eje económico de miles de familias y contribuye al Producto Bruto Interno (PBI) agrícola. El 2008 Perú ocupó el octavo puesto a nivel mundial de producción de café en grano (verde) subiendo siete puestos desde 1990 y dos puestos desde 2006 (Organización Internacional del Café). De acuerdo a la FAO – Organización de Agricultura y Alimentación de la ONU, Perú produjo 677 mil toneladas de café en 2008; mientras que la Internacional Coffee Organization menciona que el Perú ha producido 4.25 millones de sacos de café en el mismo año (Info cafés, 2019).

Teniendo en cuenta la importancia de estos ecosistemas se planteó esta investigación con el fin de obtener datos para la valoración estadística de carbono almacenado en un sistema agroforestal de café (*Coffea arabica* L), asociado con guaba (*Inga edulis* sp.), distrito Jaén - Cajamarca, utilizando ecuaciones alométricas para lograr objetivo de determinar el carbono almacenado en un SAF.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- ✓ Determinar el carbono almacenado en un sistema agroforestal de café (*Coffea arabica* L.), variedad Catimor, asociado con guaba (*Inga edulis* sp.), distrito Jaén-Cajamarca.

2.2. Objetivos específicos

- ✓ Cuantificar el carbono almacenado en la biomasa aérea de un sistema agroforestal de café (*Coffea arabica* L.), variedad Catimor, asociado con guaba (*Inga edulis* sp.).
- ✓ Determinar el carbono almacenado en la necromasa (hojarasca), de un sistema agroforestal de café (*Coffea arabica* L.), variedad Catimor, asociado con guaba (*Inga edulis* sp.).
- ✓ Cuantificar el carbono fijado en el suelo de un sistema agroforestal de café (*Coffea arabica* L.), variedad Catimor, asociado con guaba (*Inga edulis* sp.).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales de campo.

- ✓ 01 GPS
- ✓ 01 Balanza gramera
- ✓ 01 Cámara digital
- ✓ Herramientas (machete, palana, martillo, etc.).
- ✓ 01 Cinta métrica
- ✓ 01 Cilindro de 100 cm³
- ✓ 01 tubo metálico de 20 cm para muestreo de suelos.
- ✓ 01 Marco de madera de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m).
- ✓ 24 Bolsas de polipropileno.
- ✓ 01 Libreta de apuntes

3.2. Materiales de laboratorio.

- ✓ 01 Estufa
- ✓ 01 Balanza electrónica analítica
- ✓ Equipo de titulación.
- ✓ Reactivos
- ✓ 02 Pipetas
- ✓ 03 Matraces
- ✓ 02 Goteros
- ✓ 24 Bolsas de papel
- ✓ 01 Tamiz de 2mm
- ✓ 02 Laptops
- ✓ Útiles de escritorio

3.3. Metodología

3.3.1. Ubicación

En la fase de campo se realizó la recolección de muestras en la parcela agroforestal denominada “Mirasol Café”, perteneciente al Centro Poblado San Miguel de las Naranjas, distrito y provincia de Jaén, departamento de Cajamarca, situada a 1145 msnm, como referencia está ubicado al margen de la carretera Jaén – CP. San Miguel de Las Naranjas y la fase de laboratorio se realizó en la Universidad Nacional de Jaén y Oikoslab S.A.C.

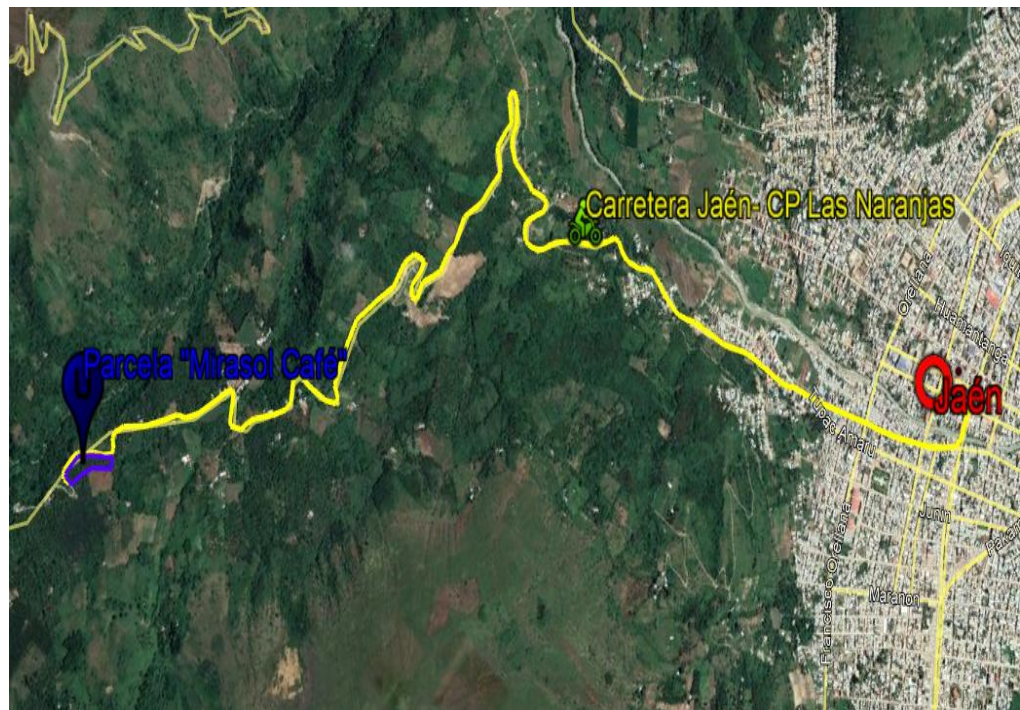


Figura 1. Croquis de ubicación de la parcela “Mirasol Café”

Fuente: Google Earth Pro

3.3.2. Recopilación de información

La parcela agroforestal investigada tiene un área de 10 000 m² (1 ha), cuya edad aproximada es de 15 años y los cultivos asociados son el café (*Coffea arabica* L.), de variedad Catimor y guaba (*Inga edulis* sp.).

3.3.3. Población, muestra y muestreo

- ✓ **Población:** La población de plantas por hectárea para ambos cultivos se calculó empleando la fórmula aplicada por (Mateo, 2013), en base a las densidades de siembra del café (1.80 m x 1.50 m) y la guaba (12 m x 12 m), mostrándose a continuación:

Tabla 1.

Cálculo de las poblaciones por hectárea

Formula: $N = A / D1 \times D2$	
Población de café	Población de guaba
$N = 10\,000 / (1.80 \times 1.50)$	$N = 10\,000 / (12 \times 12)$
N= 3 703 plantas de café / ha.	N= 70 plantas de guaba / ha.

Fuente: (Mateo, 2013). Nota: Donde, N= Número de plantas/ ha, A= Área (m²), D1= Distanciamiento entre plantas, D2= Distanciamiento entre sur.

- ✓ **Muestra:** La muestra de café se calculó empleando la fórmula aplicada por (Rodríguez, 2012), por lo que se evaluó 348 plantas y para la guaba se estimó una muestra representativa de 35 árboles (50% de su población).

Tabla 2.

Cálculo de la muestra de plantas de café

Muestra de café (n)
<p>Formula: $n = \frac{N (Z * 2) \times p \times q}{(i * 2) \times (N - 1) + (Z * 2) \times p \times q}$</p> $n = \frac{3\,703 (1.96 * 2) \times 0.5 \times 0.5}{(0.05 * 2) \times (3\,703 - 1) + (1.96 * 2) \times 0.5 \times 0.5}$ <p>n= 348 plantas de café</p>

Fuente: (Rodríguez, 2012). Nota: Donde, n= tamaño muestral, N= tamaño de la población, Z= nivel de confianza (Z=95%=1.96), p= prevalencia esperada del parámetro a evaluar (p=0.5), q= 1-p (q= 0.5), i= error (5%). * (elevado a la potencia).

- ✓ **Muestreo:** Las mediciones de las plantas de café y guaba, así como también la recolección de la hojarasca y el suelo, se realizaron mediante el método probalístico aleatorio.

3.3.4. Delimitación de la parcela.

Se delimitó la parcela (1 ha), con el uso de GPS dónde se tomaron las muestras y datos correspondientes a la investigación como se detalla en el siguiente mapa de distribución:

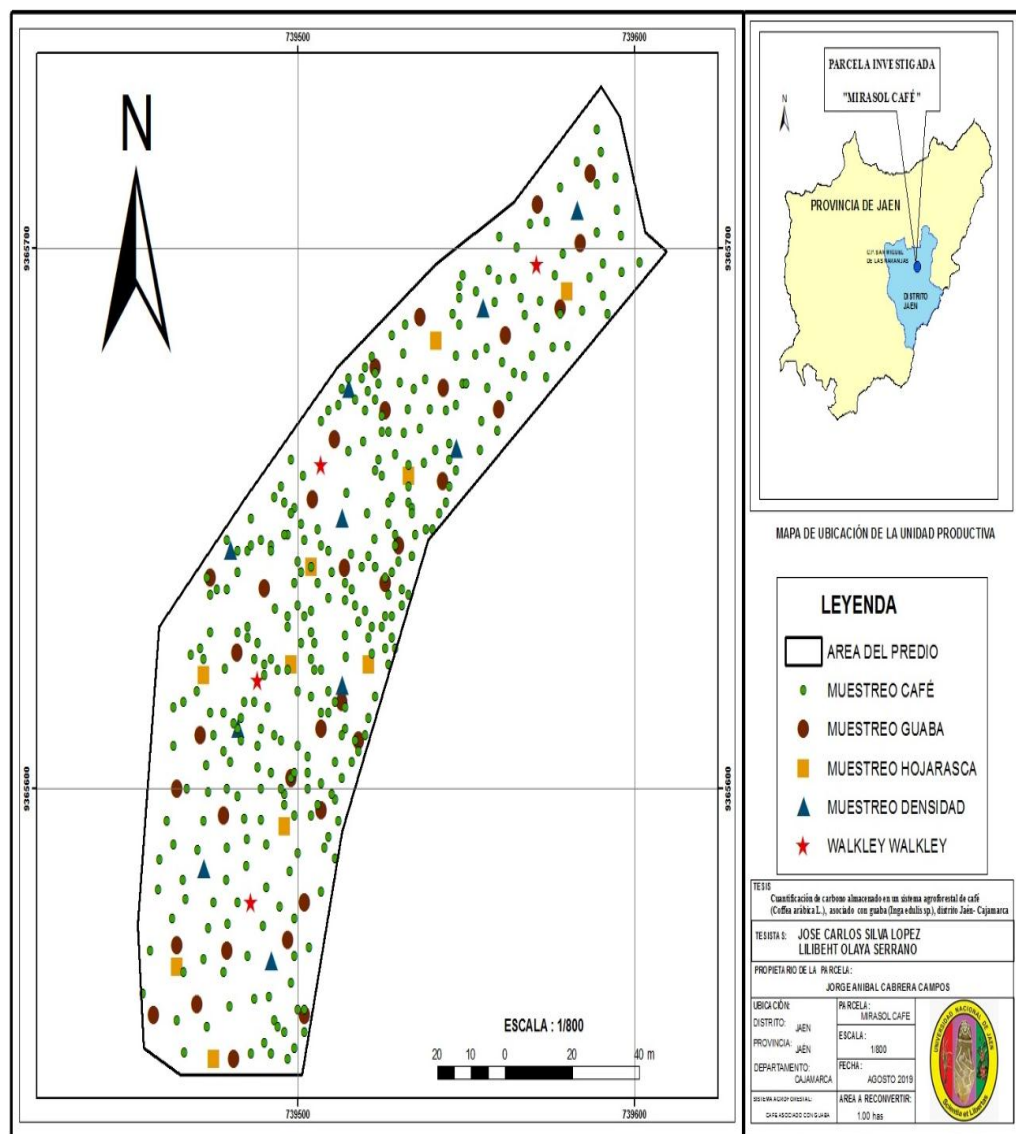


Figura 2. Mapa de delimitación y distribución de la parcela investigada

Fuente: Elaboración propia

3.3.5. Metodología para calcular la materia seca en la biomasa muerta

Las 10 muestras de hojarasca se recolectaron en campo (A), mientras que el secado (B), se realizó en el laboratorio de la Universidad Nacional de Jaén y el cálculo de la materia seca de la hojarasca (C), se hizo en gabinete; metodología que se basó en (Rügnitz *et al.*, 2009), detallándose a continuación:

A. Obtención de muestras de biomasa muerta

Se utilizó un marco cuadrado de madera con dimensiones de 0,25 m² (50 cm x 50 cm), el cuál fue lanzado al azar, donde se recolectó y se pesó toda la hojarasca contenida dentro del marco (peso fresco total), luego se pesaron sub muestras de 200 g que se guardaron en bolsas plásticas debidamente identificadas y rotuladas que fueron trasladadas al laboratorio.

B. Secado de las muestras de biomasa muerta

Las muestras de hojarasca recolectadas en campo fueron cambiadas a bolsas de papel para ser secados en la estufa a una temperatura de 60 °C hasta obtener un peso constante.

C. Cálculo de materia seca en la hojarasca (MS_{hojarasca})

Se calculó empleando la siguiente fórmula:

$$MS_{(hojarasca)} = (PS_{sub\ muestra} / PF_{sub\ muestra}) \times PFT$$

Dónde: MS_(hojarasca) = Materia seca hojarasca (kg)

PS sub-muestra = Peso seco sub muestra (g)

PF sub-muestra = Peso fresco sub muestra (g)

PFT= Peso fresco total (kg)

3.3.6. Metodología para estimar la biomasa aérea total

Las estimaciones de biomasa aérea de las plantas de café y guaba se calcularon mediante el método indirecto no destructivo que consiste en generar ecuaciones y modelos calculados a partir de los datos generados en inventarios forestales o variables colectadas en terrenos, mediante las cuales es posible estimar la biomasa a partir del volumen del árbol, en función de su densidad y un factor de expansión para determinar el peso seco total (Losada, 2017).

Se midieron en campo los diámetros normales de 348 plantas de café a 15 cm sobre el suelo y los diámetros a la altura del pecho de 35 árboles de guaba a 1.30 m sobre el suelo. Ambas alturas de medición basadas en el trabajo de investigación de (Connolly & Corea, 2007).

A. Ecuación alométrica para calcular la biomasa aérea de las plantas de café.

La biomasa aérea del café realizada en gabinete se determinó mediante una ecuación alométrica aplicada por (Espinoza *et al.*, 2012), con coeficiente de determinación $R^2 = 0.94$.

$$Y_{\text{(café)}} = 0.2811D^{2.0635}$$

Dónde: $Y_{\text{(café)}}$ = Biomasa aérea de café (kg/árbol)

D = Diámetro normal (cm)

Constantes = 0.2811 y 2.0635

B. Ecuación alométrica para calcular la biomasa aérea de los árboles de guaba.

Para el cálculo de la biomasa aérea de los árboles de guaba se utilizó la ecuación planteada por (Arévalo *et al.*, 2003) y aplicada por (Sifuentes, 2015), la cual se muestra continuación:

$$BA_{(guaba)} = 0.1184 \times (DAP)^{2.53}$$

Dónde: $BA_{(guaba)}$ = Biomasa aérea de guaba (kg/árbol)

DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm)

Constantes = 0.1184 y 2.53

C. Ecuación para calcular la biomasa aérea total (BAT)

La biomasa aérea total se determinó mediante la aplicación de la siguiente ecuación simple:

$$BAT = Y_{(café)} + BA_{(guaba)}$$

Dónde: BAT = Biomasa aérea total (t/ha)

$Y_{(café)}$ = Biomasa aérea de café

$BA_{(guaba)}$ = Biomasa aérea de la guaba

3.3.7. Metodología para determinar el carbono almacenado en la biomasa (CAB).

La cantidad de carbono almacenado en la biomasa (B), se calculó empleando la metodología de (Rügnitz *et al.*, 2009).

A. Determinación de la biomasa final (B_{FINAL}).

El cálculo de biomasa final se determinó empleando la fórmula que se muestra a continuación:

$$B_{FINAL} = BAT + MS_{(hojarasca)}$$

Dónde: B_{FINAL} = Biomasa final (t/ha)

BAT = Biomasa aérea total

$MS_{(hojarasca)}$ = Materia seca de la hojarasca

B. Cuantificación del carbono almacenado en la biomasa (CAB).

El carbono almacenado en la biomasa se calculó con el valor estándar de IPCC (Panel intergubernamental para el cambio climático), para fracción de carbono (FC = 0.5), de la siguiente manera:

$\text{CAB} = \text{B}_{\text{FINAL}} \times \text{FC}$

Dónde: CAB = Carbono almacenado en la biomasa (t C/ha)

B_{FINAL} = Biomasa final (t/ha)

FC = Fracción de carbono.

3.3.8. Metodología para cuantificar el carbono fijado en el suelo .

En primer lugar se calculó la densidad aparente del suelo (A,B y C), empleando la metodología de (Ramírez, 2012); luego se determinó el porcentaje de carbono orgánico contenido en el suelo (E) y finalmente se realizó la cuantificación del carbono fijado en el suelo (F), de la siguiente manera:

A. Obtención de la muestra de suelo para calcular la densidad aparente.

Se recolectó en campo 10 muestras de suelo (bolsas plásticas), mediante el método del cilindro de volumen conocido (100 cm³), muestreando el suelo de manera vertical y debidamente rotuladas.

B. Secado de la muestra de suelo para obtener la densidad aparente

Las muestras recolectadas en campo fueron trasladadas al laboratorio de la Universidad Nacional de Jaén para luego ser cambiadas a bolsas de papel y posteriormente secadas en la estufa a una temperatura de 105 °C hasta obtener peso constante; en el cual se obtuvo el peso seco.

C. Cálculo de la densidad aparente (Da).

El cálculo de la densidad aparente se determinó empleando la siguiente fórmula (Ramírez, 2012):

$Da = (\text{Peso del suelo seco}) / (\text{volúmen del cilindro})$

Dónde: Da= Densidad aparente (g/cm³)

Peso seco del suelo = (g)

Volúmen del cilindro = 100 cm³

D. Obtención de la muestra de suelo para determinar el porcentaje de carbono orgánico contenido en el suelo

La determinación del porcentaje de carbono contenido en el suelo se basó en la metodología de Walkley Black aplicada por (Díaz, 2015).

✓ Obtención de la muestra de suelo

En campo se recolectó cuatro sub muestras de suelo (en bolsas plásticas), a una profundidad de 20 cm, utilizando un tubo metálico de la misma medida.

✓ Preparación de la muestra de suelo para el análisis con el método de Walkley Black.

Primero se secaron las muestras de suelo en una estufa a temperatura de 55 °C durante 3 días, luego fueron tamizadas a 2 mm de luz de malla, estas se homogenizaron quedando en dos muestras; pasos que fueron realizados en el laboratorio de la Universidad Nacional de Jaén.

Posteriormente las muestras de suelo fueron llevadas al laboratorio Oikoslab S.A.C, ubicado en la ciudad de Jaén, para su respectivo análisis que se detalla a continuación:

✓ **Reactivos que se utilizaron.**

- Solución de dicromato de potasio (1 N) (10 ml)
- Ácido sulfúrico concentrado (20 ml)
- Solución de sulfato ferroso (0.5 N)
- Indicador de difenilamina (20 ml)
- Agua destilada (250 ml)

✓ **Procedimiento (digestión del carbono)**

- Pesar 0.2 gramos de suelo de 2 mm
- Agregar 10 ml de la solución de $K_2Cr_2O_7$ en un matraz Erlenmeyer de 500 ml
- Agregar cuidadosamente 20 ml de H_2SO_4 concentrado
- Dejar reposando por un tiempo de 30 minutos
- Agregar 250 ml de agua destilada al Erlenmeyer

✓ **Valoración del dicromato ($K_2Cr_2O_7$)**

- Agregar 20 ml gotas del indicador difenilamina.
- Valorar la muestra con la solución $FeSO_4$ (0.5 N)
- Usar un blanco y valorarlo primero que la muestra

E. Cálculo del porcentaje de carbono orgánico contenido en el suelo

Después de analizada la muestra de suelo por el método de Walkley Black, se calculó el porcentaje de carbono orgánico de la siguiente manera:

$$\% \text{ Carbono Orgánico} = \frac{(\text{meq } K_2Cr_2O_7 - \text{meq } FeSO_4) (0.003) (100)}{\text{peso de la muestra}}$$

Dónde: $(\text{meq}) K_2Cr_2O_7 = \text{Volumen } K_2Cr_2O_7 \times N$

$(\text{meq}) Fe_2(SO_4)_2 = \text{Volúmen } Fe_2SO_4 \times N$

0.003 = Peso meq del carbono

Para convertir a % Materia Orgánica (MO) = % C. orgánico x 1,7240

F. Cuantificación del carbono fijado en el suelo

Una vez obtenido la densidad aparente y el porcentaje de carbono orgánico contenido en el suelo; se cuantificó el carbono fijado en el suelo mediante la fórmula aplicada por (Ramírez *et al.*, 2014), de la siguiente manera:

$$CS = \% CO \times Da \times P$$

Dónde: CS= Carbono fijado en el suelo (t C/ha)

%CO = Porcentaje de carbono orgánico contenido en el suelo.

Da = Densidad aparente del suelo (g/cm³)

P = Profundidad de muestreo (cm)

IV. RESULTADOS

4.1. Materia seca de la hojarasca ($MS_{\text{hojarasca}}$).

El cálculo de la materia seca de la hojarasca (biomasa muerta), se realizó empleando la formula detallada en el paso C del ítem 3.3.5 de la metodología arriba mencionada.

Tabla 3.

Promedio de la materia seca de la hojarasca contenido en el marco de $0.25m^2$

N° Muestra	Factores			MS (hojarasca) (kg/0.25m²)
	PS sub muestra (g)	PF sub muestra (g)	PFT (kg)	
H ₁	80.25	200	0.481	0.1930
H ₂	62.31	200	0.543	0.1692
H ₃	69.78	200	0.808	0.2819
H ₄	78.97	200	1.116	0.4407
H ₅	32.00	200	1.085	0.1736
H ₆	33.92	200	1.725	0.2926
H ₇	69.91	200	1.616	0.5649
H ₈	87.08	200	0.582	0.2534
H ₉	63.32	200	1.515	0.4796
H ₁₀	78.55	200	0.817	0.3209
PROMEDIO				0.3170

Nota: elaboración propia.

En la Tabla 3 se muestra el promedio de la materia seca de hojarasca fue 0.3170 kg/0.25m², por lo que mediante un cálculo simple por regla de tres se encontró la cantidad de materia seca de hojarasca expresada en toneladas/ha:

$$\begin{array}{ccc} 0.3170 \text{ kg} & \longrightarrow & 0.25 \text{ m}^2 \\ X \text{ kg} & \longrightarrow & 10\,000 \text{ m}^2 (1 \text{ ha}) \end{array}$$

$$MS_{(\text{hojarasca})} = 12\,680 \text{ kg/ha}$$

$$MS_{(\text{hojarasca})} = 12.68 \text{ t/ha}$$

4.2. Estimación de la biomasa aérea total.

Las estimaciones de la biomasa aérea de las plantas de café y guaba se calcularon empleando ecuaciones alométricas, de la siguiente manera:

4.2.1. Cálculo de la biomasa aérea del café ($Y_{\text{café}}$).

Previo a la determinación de la biomasa aérea del café se promedió los diámetros normales medidos a 15 cm sobre el suelo obteniendo un promedio de 5.2457 cm; luego se hizo el cálculo mediante la ecuación alométrica y se determinó 8.5936 kg/árbol de biomasa aérea; seguidamente se calculó la biomasa aérea del café expresada en toneladas/ha contenida en la población, de la siguiente manera:

$$\begin{array}{ccc} 8.5936 \text{ kg} & \longrightarrow & 1 \text{ planta} \\ X \text{ kg} & \longrightarrow & 3\,703 \text{ plantas (población)} \end{array}$$

$$Y_{(\text{café})} = 31\,822 \text{ kg/ha}$$

$$Y_{(\text{café})} = 31.82 \text{ t/ha}$$

4.2.2. Cálculo de la biomasa aérea de la guaba (BA_{guaba})

Una vez obtenido el promedio del diámetro a la altura del pecho (DAP = 18.7530 cm), de los árboles medidos a 1.30 m sobre el nivel del suelo, se hizo el cálculo mediante la ecuación alométrica y se determinó 196.887 kg/árbol de biomasa aérea. Procediéndose a calcular la biomasa aérea t/ha, de la siguiente manera:

196.887 kg \longrightarrow 1 planta

X kg \longrightarrow 70 plantas

$$BA_{(guaba)} = 13\,782 \text{ kg/ha}$$

$$BA_{(guaba)} = 13.78 \text{ t/ha}$$

4.2.3. Cálculo de la biomasa aérea total (BAT)

Tabla 4.

Estimación de la biomasa aérea total en t/h

$Y_{(café)}$ (t/ha)	$BA_{(guaba)}$ (t/ha)	BAT (t/ha)
31.82	13.78 t/ha	45.60

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 4 se muestra la estimación de la biomasa aérea total expresada en toneladas/ha, que se obtuvo de la suma de la biomasa aérea del café (31.82 t/ha) y la biomasa aérea de la guaba (13.78 t/ha), obteniéndose como resultado 45.60 t/ha de biomasa aérea total.

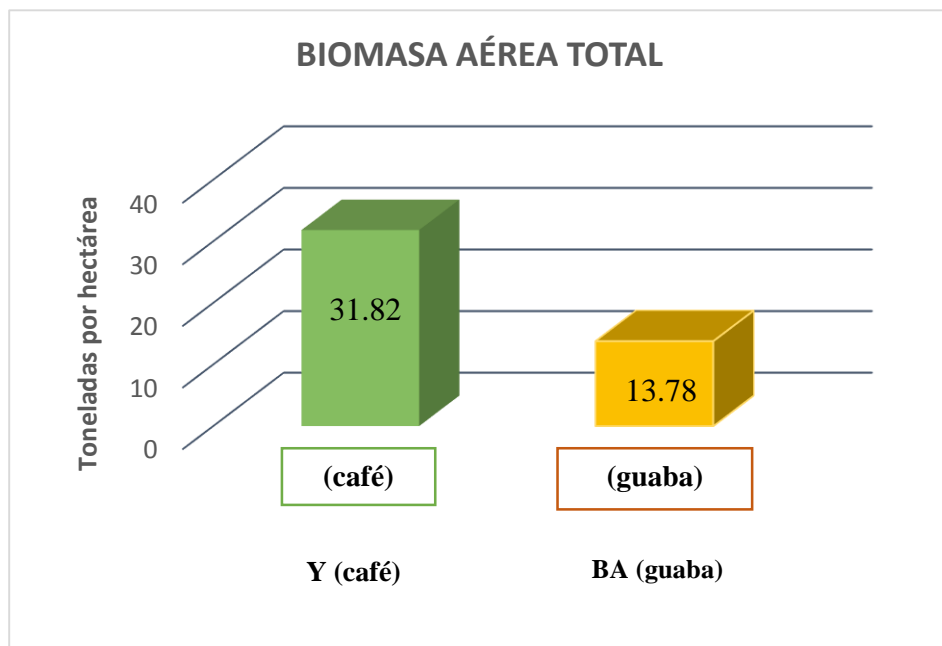


Figura 3. Representación gráfica de la biomasa aérea total.

4.3. Determinación del carbono almacenado en la biomasa

4.3.1. Cálculo de la biomasa final (B_{FINAL}).

El cálculo de la biomasa final se realizó empleando la fórmula detallada en el paso A del ítem 3.3.7 de la presente metodología.

Tabla 5.

Cantidad de la biomasa final en t/ha

BAT (t/ha)	MS (hojarasca) (t/ha)	B_{FINAL} (t/ha)
45.60	12.68	58.28

Nota: Elaboración propia

En la tabla 5 se muestra el resultado de la biomasa final (58.28 t/h), obtenido de la suma de la biomasa aérea total (45.60 t/ha) y la materia seca de hojarasca (12.68 t/ha).

4.3.2. Cuantificación del carbono almacenado en la biomasa (CAB).

Tabla 6.

Concentración del carbono almacenado en la biomasa en tC/ha

B_{FINAL} (t/ha)	FC	CAB (tC/ha)
58.28	0.5	29.14

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 6 se muestra la concentración de carbono almacenado en la biomasa, producto de la multiplicación de la biomasa final (58.28 t/ha), por el valor estándar de IPCC (FC =0.5) y se obtuvo 29.14 tC /ha

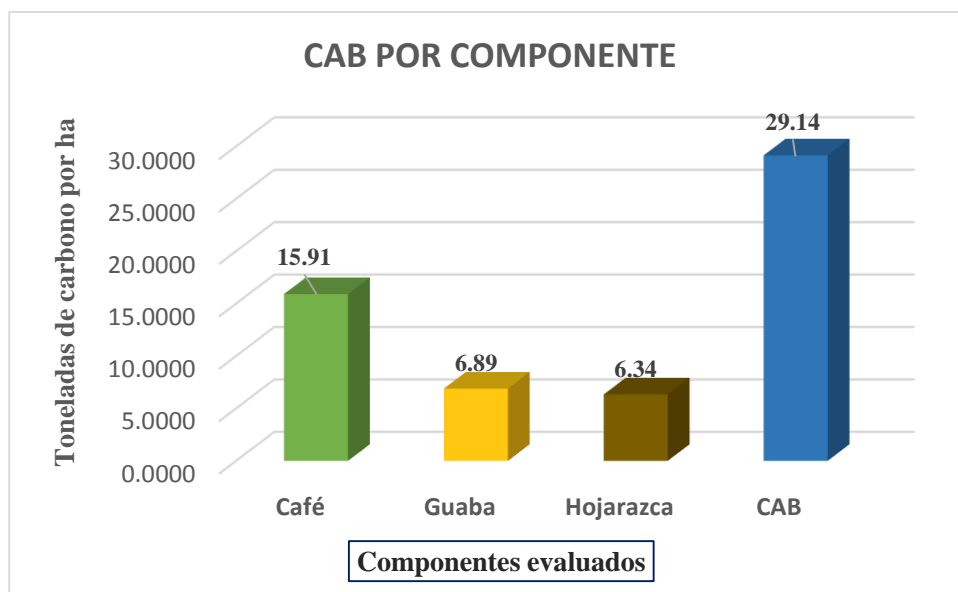


Figura 4. Gráfica representativa del carbono almacenado en cada componente evaluado

4.4. Cuantificación del carbono fijado en el suelo

4.4.1. Cálculo de la densidad aparente del suelo (Da).

Tabla 7.

Promedio de la densidad aparente

N° Muestra	Peso del suelo seco (g)	Vol. del cilindro (cm ³)	Densidad aparente (Da) (g/cm ³)
D ₁	148.06	100	1.4806
D ₂	150.01	100	1.5001
D ₃	153.48	100	1.5348
D ₄	169.38	100	1.6938
D ₅	144.92	100	1.4492
D ₆	130.03	100	1.3003
D ₇	171.64	100	1.7164
D ₈	169.33	100	1.6933
D ₉	154.37	100	1.5437
D ₁₀	149.26	100	1.4926
PROMEDIO			1.5405

Nota: elaboración propia.

En la Tabla 7 se muestra el promedio de la densidad aparente (1.5405 g/cm^3), producto de la suma de las densidades de cada muestra, obtenidas de la división del peso del suelo seco entre el volumen del cilindro (100 cm^3).

4.4.2. Porcentaje de carbono orgánico contenido en el suelo

Las muestras analizadas en el laboratorio de Oikoslab S.A.C, presentan los siguientes resultados:

Tabla 8.

Resultados de las muestras analizadas por el método de Walkley Black

Muestra	Unidades	Resultados		Metodología
		Carbono	Materia Orgánica	
Muestra 1	%	3.48	5.99	Walkley Black
Muestra 2		3.28	5.66	
Promedio		3.38	5.83	

Nota: Resultados del suelo evaluado en el laboratorio

Fuente: Laboratorio Oikoslab S.A.C.

4.4.3. Cálculo del carbono fijado en el suelo (CS)

Una vez analizada la muestra en el laboratorio Oikoslab S.A.C mediante el método de Walkley Black y la densidad aparente, se procedió a calcular el carbono fijado en el suelo de la siguiente manera:

Tabla 9.

Cálculo del carbono fijado en el suelo en tC/ha

% CO	Da (g/cm^3)	P (cm)	CS (tC/ha)
3.38	1.5405	20	104.13

Nota: elaboración propia

En la Tabla 9 se muestra el % CO (3.38%), la densidad aparente y la profundidad de muestreo, cuyo como resultado fue 104.13 tC/ha fijado en suelo

4.5. Carbono almacenado en el sistema agroforestal.

A continuación, se detallan resumidamente las toneladas de carbono presentes en la hojarasca, en la biomasa aérea y el suelo:

Tabla 10.

Cuantificación del carbono total almacenado en la hectárea evaluada.

Variables Evaluadas	Biomasa aérea	Hojarasca	Suelo	CARB. TOTAL
Resultados en tC/ha	22.80	6.34	104.13	133.27

Nota: elaboración propia

En la Tabla 10 se muestra los resultados de la cuantificación de carbono almacenado en el sistema agroforestal (1 ha), en función a los objetivos y variables evaluadas, mostrando concentraciones 22.80 tC/ha almacenado en la biomasa aérea, 6.34 tC/ha almacenado en la hojarasca, y 104.13 tC/ha fijado en el suelo, siendo este último el que mayor reserva de carbono concentra.

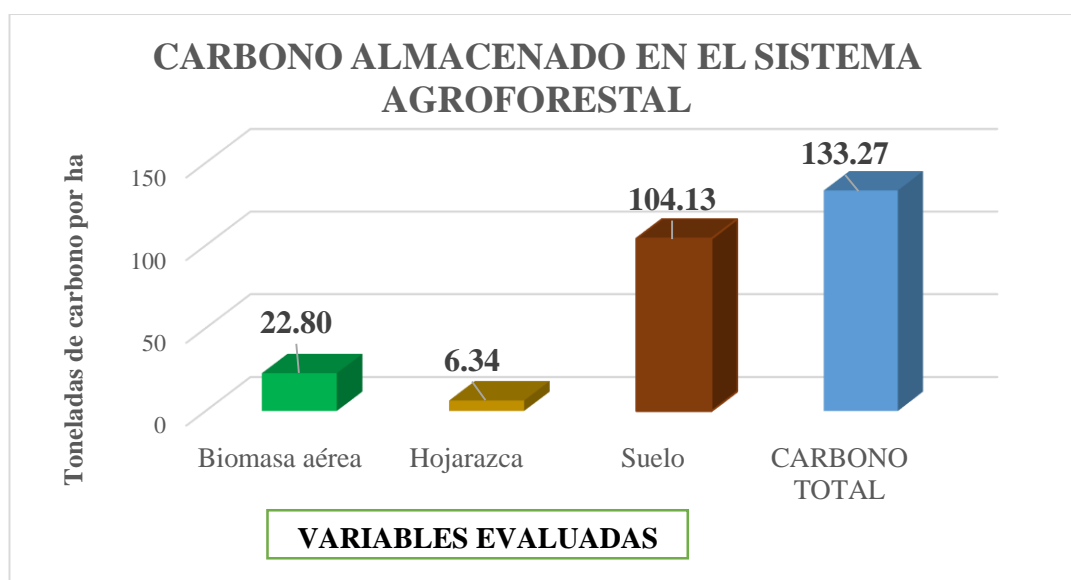


Figura 5. Gráfica representativa del carbono almacenado en el sistema agroforestal.

En la figura 5 se muestra una gráfica detallando las concentraciones de carbono según el componente evaluado que suman un total de 133.27 tC/ha almacenados en un SAF.

V. DISCUSIÓN

- ✓ En la presente investigación se estudió un sistema agroforestal de *Coffea arabica* L. variedad Catimor (población de 3 703 plantas), asociado con *Inga edulis* sp. (población de 70 árboles); se realizó en el Centro Poblado San Miguel de las Naranjas perteneciente a la Provincia de Jaén a 1145 msnm, donde se consideró tres componentes de almacenamiento de carbono, cómo la biomasa aérea (plantas café y árboles de guaba), hojarasca y suelo; los resultados obtenidos muestran que la mayor cantidad de carbono almacenado está en el suelo con 104.13 tC/ha (78.14%), seguido de la biomasa aérea con 22.80 tC/ha (15.91 tC/ha en el café y 6,89 tC/ha en la guaba), representado por un 17.11% y en menor proporción en la hojarasca con 6.34 tC/ha (4.75%) . El cálculo de la biomasa aérea se realizó indirectamente mediante la aplicación de ecuaciones alométricas utilizando diámetros promedios de $D = 5.2457$ y $DAP = 18.752956$. El carbono almacenado en la biomasa se realizó mediante el método de (Rügnitz *et al.*, 2009) y el carbono fijado en el suelo se determinó mediante el método de Walkley Black, con porcentaje de carbono orgánico contenido en el suelo de 3.38% (Oikoslab S.A.C, 2019), densidad promedio de 1.5405 g/cm³ y la profundidad de muestreo (20 cm).

En la investigación de Cabrera *et al.* (2016), “Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales cafetaleros en las provincias de Jaén y San Ignacio, Cajamarca”, se estudiaron 32 sistemas agroforestales cafetaleros con sombra diversificada en la provincia de Jaén (Jaén y Santa Rosa) y San Ignacio (Tabaconas, La Coipa y Huarango), a altitudes desde los 1 008 msnm hasta los 1 850 msnm. Las cuantificaciones de la biomasa aérea se evaluaron en poblaciones promedio de café variedad Catimor de 1 654 plantas/ha, con concentraciones que oscilan desde 2.03 a 18.25 tC/ha y las poblaciones de árboles de sombra con promedios de 259 árboles/ha, que almacenan entre 0.15 tC/ha y 93.67 tC/ha. La hojarasca almacena

entre 0.29 tC/ha y 3.45 tC/ha. El suelo almacena entre 32.69 tC/ha y 52.81 tC/ha con muestreo realizado a 0.30 m y con densidad promedio de 1.4999 g/cm³.

Ambas investigaciones presentan variabilidad en las cantidades de almacenamiento de carbono en el café, a pesar que la anterior investigación presenta mayor diferencia en la población promedio de plantas/ha, que oscila en 2 284 plantas (Cabrera *et al.*, 2016); la baja concentración de carbono en las plantas de café debe darse por la amplia densidad de siembra y distintas especies de sombra por lo que almacenan mayores cantidades de carbono en sus biomásas que dificultan el desarrollo y crecimiento del café (Valencia, s/f). Las diferencias de almacenamiento de carbono en la hojarasca y en el suelo de ambas investigaciones está en función a la concentración de este elemento en las plantas, la biomasa, los distintos sistemas de uso de suelo, la profundidad del suelo y la densidad aparente (Figuerola *et al.*, 2005). Estos resultados son muy versátiles puesto que dependen de las condiciones de cada sitio como el clima, suelo, tipología de cafeto, manejo, entre otras variables, que influyen en el contenido de carbono dentro del sistema agroforestal a evaluar (Ávila, 2000).

- ✓ En la investigación de Corral *et al.* (2006), “Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café arábico y cacao, en dos zonas agroecológicas del litoral Ecuatoriano”, que tuvo como objetivo cuantificar el carbono fijado y almacenado en los sistemas silvoagrícolas, entre ellos evaluó *Coffea arabica* asociado con *Inga edulis*”; su ejecución se realizó en dos zonas agroecológicas del litoral ecuatoriano: En Pichilingue y Caluma, que de acuerdo a la clasificación de zonas de vida de Holdrige, corresponden a las formaciones ecológicas de Bosque Tropical Húmedo y Bosque Muy Húmedo Sub-tropical; donde obtuvo como resultados absolutos en los SAF con café de 48.7 tC/ha en guaba y 4.8 tC/ha en café en los SAF con café, sumando un total de 53.5 t/ha de carbono.

En la presente investigación, se obtuvo 15.91 tC/ha en el café y 6.39 tC/ha en la guaba, que suman un total de 22.80 tC/ha, a diferencia de la investigación anterior, en sus zonas de vida predominan las especies de alto bosque, están ubicadas por debajo de los 350 msnm hasta los 650 msnm, con precipitaciones entre los 1916

mm – 3 416 mm por año (Clima y zonas de vida, 2006); esta se realizó en una zona de vida de un bosque seco- Premontano Tropical (bs.PT) (basadas en la clasificación de Holdrige), ubicado entre los 1 000 – 2 000 msnm, presenta precipitaciones pluviales entre los 600 - 800 mm y un clima sub húmedo, su cubierta es típica de sabana compuesta por árboles relativamente de porte bajo (Tello, 2011); razones por las cuales las diferencias de concentraciones de carbono varían; por ejemplo la guaba en la anterior investigación almacena más carbono que en esta investigación a diferencia del café donde sucede lo contrario.

- ✓ En el estudio técnico de (GIZ, 2011), que tiene como nombre “Secuestro de Carbono en Biomasa Aérea en Sistemas Agroforestales de Cacao y Café ubicados en la Reserva de Biosfera Sumaco”, donde seleccionaron aleatoriamente de 10 fincas o sistemas agroforestales con café arábica agrupada en las siguientes edades: 3 fincas con edad del café arábica de 2 años, 3 con edad de 4 años y 4 con edad de 5 años. De acuerdo a las parcelas de muestreo levantadas en los sistemas agroforestales con café arábica, calcularon que este tipo de sistema agroforestal presenta una densidad de 3565 árboles de café/ha y una densidad promedio de especies maderables y frutales de 64 árboles/ha. A pesar de esta alta densidad de plantas de café no se ha podido observar una recesión de copas (mortalidad) por falta de luz, ya que el hábito de crecimiento de esta especie es aparente para crecer a ésta densidad, la curva de carbono de café arábica muestra una fijación relativamente baja (8 tC/ha), incluso incluyendo el aporte de las especies de sombra (47 tC/ha).

En la presente investigación se evaluó densidades de siembra de los árboles muy similares a los de la anterior investigación, en la parcela agroforestal evaluada el distanciamiento de siembra de los árboles de guaba es de 12 m x 12 m (70 plantas/ha), que representa un óptimo sombrío de 45 %, por lo que proporciona la sombra adecuada al cultivo de café para que esta tenga un buen crecimiento y desarrollo (Valencia, sf), concentrando 15.91 tC/ha en la biomasa de cultivo de café y 6.89 tC/ha en la biomasa del cultivo de guaba. La diferencia en las concentraciones de carbono de ambas investigaciones muestran que en el estudio técnico de (GIZ, 2011), la densidad de siembra de los árboles de sombra no afectan

al cultivo de café, sino el tipo de especies en este caso árboles frutales y maderables que proporcionan bastante sombra afectando al cultivo de café (8 tC/ha) y a la vez almacenan mayor cantidad de carbono en su biomasa (47 tC/ha); a diferencia de la guaba que le otorga buenas condiciones de sombra al cultivo de café y puedan tener un mejor desarrollo (15.91 tC/ha).

- ✓ En la investigación de Ramírez, I. (2016), "Estimación del carbono retenido en la biomasa del estrato - café (*Coffea arabica* var. Catimor), bajo sombra de guaba (*Inga edulis* Sp.), en la provincia de Lamas - Perú", los objetivos fueron estimar la cantidad de carbono retenido en la hojarasca, en las arbustivas, en la biomasa aérea y en los 5 cm superiores del suelo, en un sistema agroforestal de café bajo sombra de *Inga edulis* y determinar la proporción relativa del aporte en los sistemas agroforestales, se evaluaron sistemas agroforestales de edades entre los 3 años y 8 años de edad; donde concluye que la máxima cantidad de carbono en la hojarasca en el sistema agroforestal de café bajo sombra con *Inga edulis*, donde la máxima cantidad de carbono en hojarasca fue de 7 900.46 kg. C/ha, que es equivalente a 7.90 tC/ha.

En la presente investigación se obtuvo 6.34 tC/ha almacenado en la hojarasca, a diferencia de la anterior investigación que obtuvo 7.90 tC/ha; la diferencia de toneladas podría variar en la diferencia de altitudes donde se desarrollaron las investigaciones, la Provincia de Lamas está ubicada a los 840 msnm y el CP Las Naranjas- Distrito de Jaén a 1145 msnm, otro factor determinante podría ser la diferencia de edades de los sistemas agroforestales que oscila entre los 7 años.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- ✓ Se determinó 133.27 tC/ha almacenado en un sistema agroforestal de café (*Coffea arabica* L), variedad Catimor con guaba (*Inga edulis* sp.), distrito Jaén- Cajamarca.
- ✓ Se cuantificó 22.80 tC/ha almacenado en la biomasa aérea de un sistema agroforestal de café (*Coffea arabica* L.), variedad Catimor con guaba (*Inga edulis* sp.).
- ✓ Se determinó 6.34 tC/ha almacenado en la necromasa (hojarasca), de un sistema agroforestal de café (*Coffea arabica* L.), variedad Catimor con guaba (*Inga edulis* sp.).
- ✓ Se cuantificó 104.13 tC/ha de carbono fijado en el suelo de un sistema agroforestal de café (*Coffea arabica* L.), variedad Catimor con guaba (*Inga edulis* sp.).

6.2. Recomendaciones

- ✓ Asociar los cultivos de café con árboles del grupo de las leguminosas que son grandes fijadores en nitrógeno y CO₂, considerando una buena proporción de sombra de 45 % – 50 %, para tener un buen rendimiento en la productividad, mejores beneficios para el ambiente y mejor estabilidad de la plantación.
- ✓ Elaborar ecuaciones alométricas específicas para cada especie y zona; o en todo caso aplicar ecuaciones ya establecidas que se hayan desarrollado en condiciones similares.

- ✓ Valerse de los resultados obtenidos por centros de estudio, organizaciones productivas y gobiernos municipales para “negociar” una eventual venta de certificados de emisiones reducidas en los mercados voluntarios de carbono.
- ✓ Ejecutar estudios de estimación económica para realizar la valorización por la fijación y almacenamiento de carbono a nivel local, regional y nacional, como propuesta de incentivo para la siembra y conservación del sistema agroforestal café, con la finalidad de mejorar la calidad de vida de los agricultores.
- ✓ Identificar e integrar por medios de las tecnologías forestales y agronómicas que especies se debe de sembrar, para asociar al cultivo de café y así evitar pérdidas en la productividad.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ávila, V. (2000). *Fijación y almacenamiento de Carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol*. (Tesis de post grado). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0254e/A0254e.pdf>
- Cabrera, L., Vaca, S., Aguirre, F., & Aguirre, H. (2016). Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales cafetaleros en las provincias de Jaén y San Ignacio, Cajamarca *Revista Pakamuros*, 4(1), 43-54. <https://revistas.unj.edu.pe/index.php/pakamuros/article/download/48/pdf>
- Casanova, F., Petit, J., & Solorio, J. (2011). Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Revista Chapingo*, 17(1). doi:<http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.08.047>
- Cerda, R., Espin, T., & Cifuentes, M. (2013). *Carbono en sistemas agroforestales de cacao de la Reserva Indígena Bribri de Talamanca, Costa Rica. Avances de Investigación*. Obtenido de <http://www.infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/01/345.pdf>
- Connolly, R., & Corea, C. (2007). *Cuantificación de la captura y almacenamiento de carbono en sistema agroforestal y forestal en seis sitios de cuatro municipios de Nicaragua* (trabajo de diploma). Universidad Nacional Agraria-Facultad de de Recursos Naturales y del Ambiente. Managua, Nicaragua. <http://repositorio.una.edu.ni/1103/1/tnp01c752.pdf>

- Corral, R., Duicela, L., & Maza, H. (2006). *Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café arábico y cacao, en dos zonas agroecológicas del litoral Ecuatoriano* (Tesis de post grado). Universidad Nacional de Loja. <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/15.-Fijacion-y-Almacenamiento.pdf>
- Díaz, E. O. (2015). *Relación entre el contenido de materia orgánica y Nitrogeno total de los suelos de la Provincia de Leoncio Prado* (Tesis de pre grado). Universidad Agraria de la Selva. Tingo María- Perú.. <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/173/AGR-628.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Espinoza, Krishnamurthy, Vasquez, & Torres. (2012). Almacén de Carbono en Sistemas Agroforestales con Café. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(1), 57-70. doi:doi:DOI: 10.5154/r.rchscfa.2011.04.030
- Figuerola, N., Etchevers, B., Velásquez, M., & Acosta, M. (2005). Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. *Terra Latinoamericana*, 23(1), 57-64 / <http://www.redalyc.org/pdf/573/57323108.pdf>
- Gelman, F., Binstock, R., & Halicz, L. (Julio de 2011). *Application of the Walkley-Black titration for organic carbon quantification in organic rich sedimentary rocks. The Ministry National Infrastructures* . http://www.gsi.gov.il/_Uploads/ftp/GsiReport/2011/Gelman-Faina-GSI-13-2011.pdf
- GIZ. (2011). *Secuestro de Carbono en Biomasa Aérea en Sistemas Agroforestales de Cacao y Café, ubicados en la Reserva de Biosfera Sumaco*. Quito: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. Obtenido de <https://censalud.ues.edu.sv/CDOC-Deployment/documentos/proyectocarbono.pdf>
- Infocafés. (2019). *Producción del café en Perú*. <http://infocafes.com/portal/infocafes/produccion-de-cafe-en-peru/>
- Losada, M. F. (2017). *Revisión de métodos para la estimación de captura de carbono almacenadas en bosques naturales*. Universidad Militar Nueva Granada. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16394/Fen%C3%A1ndezLosadaMagdaYolima2017.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

- Mateo, M. (2013). *Siembra de plantas por área.* / <https://www.taringa.net/kututi>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2008). *Plan Nacional de Acción del Café Peruano.* Lima, Perú. [https://www.undp.org/content/dam/peru/docs/Publicaciones%20medio%20ambiente/PNA-Cafe%20\(pliegos\)%2018Oct2018%20\(1\).pdf](https://www.undp.org/content/dam/peru/docs/Publicaciones%20medio%20ambiente/PNA-Cafe%20(pliegos)%2018Oct2018%20(1).pdf)
- NACIONES UNIDAS. (2018). *Calentamiento global de 1.5 °C.* <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>
- OMS. (2014). *EL MUNDO.* <https://www.elmundo.es/salud/2014/05/07/536a6608ca4741fe0d8b4573.html>
- Ramírez.(2012). *Ciencia del Suelo.* <http://sueloscience.blogspot.com/2012/07/metodos-para-determinar-densidad.html>
- Ramirez, C., Panduro, G., & Miranda, E. (2014). Captura de carbono en un sistema agroforestal de Theobroma cacao en el campus de la Universidad Nacional de Ucayali - Pucallpa - Perú. 5(2), 1997 - 3985. Tzhecoen. <http://revistas.uss.edu.pe/index.php/tzh/article/view/11/10>
- Ramírez, I. (2016). *Estimación del carbono en la biomasa aérea del café (coffea arabica var. Catimor) bajo sombra de guaba (inga edulis) en la provincia de Lamas-Perú* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín: <http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/127582>
- Rodríguez, E. B. (2012). *Muestra y Muestreo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Escuela Superior de Tizayuca.* https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/tizayuca/gestion_tecnologica/muestraMuestreo.pdf
- Rügnitz, M., Chacón, M., & Porro, R. (2009). *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales* (1 ed.). Lima, Perú: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF). http://www.katoombagroup.org/documents/tools/ICRAF_GuiaDeterminacionCarbono_esp.pdf

- Sifuentes, V. (2015). *Carbono almacenado y capturado en la biomasa aérea en tres sistemas agroforestales (SAF) en Sapai, Santa Lucía* (Informe de prácticas pre profesionales). Universidad Nacional Agraria de la Selva . <http://infobosques.com/portal/wp-content/uploads/2016/09/CARBONO-FINAL.pdf>
- Signature. (2017). *Las mejores zonas cafetaleras del Perú*.
<http://www.signature.pe/2017/12/01/zonas-cafetaleras-del-peru/>
- Tello, S. S. (2011). *Zonas de vida de Cajamarca* .
<https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/ZonasVidasZEESegunMapa Nacional.pdf>
- Valencia, F. (s.f.). Sistemas de producción de café en colombia. *Producción de café en sistemas agroforestales*.
<http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/720/9/8.%20Producci%C3%B3n%20caf%C3%A9%20en%20sistemas%20agroforestales.pdf>

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por sobre todas las cosas y darnos la sabiduría necesaria y la razón de existir en este mundo.

La vida es muy hermosa porque podemos disfrutar y compartir con personas que realmente te inculcan los valores, principios y enseñanzas para poder ayudar y ser guiados durante nuestra vida profesional y personal; por esto mismo; queremos exaltar la labor de nuestro asesor el Dr. Santos Clemente Herrera Díaz y nuestro jurado evaluador quienes con respeto y decencia estuvieron presentes en el desarrollo de nuestra tesis.

Por último y no menos importante agradecer al Sr. Jorge Aníbal Cabrera Campos, quien humildemente nos facilitó su parcela para ejecutar nuestra tesis y a la Universidad Nacional de Jaén por abrirnos las puertas para poder formarse profesionalmente.

DEDICATORIA

A Dios creador del todo. A mis padres Adriano Silva Huamán y María Esther López Flores, por darme la vida, amor y estar siempre presentes inculcándome valores para ser una persona de bien como lo soy ahora; también a mis hermanos J. Fiorella Rodríguez López y Víctor Marco A. Silva López, quienes a pesar de los problemas están a mi lado para poder contar con ellos eternamente.

A mi tía Elena López; a Leyla T., Hans M., John G., Frank B. y Lilibeth O., por su consideración y apoyo desinteresado e incondicional.

SILVA LÓPEZ, José Carlos.

A Dios por la vida y por ser el guía para lograr mis metas y éxitos.

A mi abuelita Irene Maza Rodríguez (Q.E.P.D.), por brindarme e inculcar la importancia de la educación, valores y buenos consejos que siempre los recordaré. A mis padres Luis Olaya Maza y Ena Lourdes Serrano Meza por traerme a este mundo y por todo su esfuerzo, sacrificio, paciencia y por ser mi principal motivo de superación. A mi hermano Luis Olaya Serrano por ser mi confidente amigo, consejero y mi ejemplo a seguir.

A mis buenos amigos que me acompañaron con sus consejos y por confiar en mí en todo mi camino de superación, a mi compañero gran amigo J. Carlos Silva López por haber creído en mis condiciones y capacidades para finalizar este proyecto.

OLAYA SERRANO, Lilibeth.

ANEXOS

Tabla 11.

Coordenadas UTM de los vértices que limitan la parcela evaluada

PUNTO Nº	COORDENADAS UTM ZONA 17 S	
	ESTE	NORTE
V ₁	739501	9365547
V ₂	739465	9365547
V ₃	739454	9365552
V ₄	739454	9365575
V ₅	739456	9365585
V ₆	739461	9365629
V ₇	739486	9365652
V ₈	739517	9365677
V ₉	739542	9365695
V ₁₀	739565	9365707
V ₁₁	739590	9365730
V ₁₂	739601	9365728
V ₁₃	739603	9365703
V ₁₄	739612	9365698
V ₁₅	739539	9365645
V ₁₆	739513	9365592

Nota: Elaboración propia

Tabla 12.

Mediciones del diámetro de las plantas de café registradas en campo.

Nº ARBOL	COORDENADAS UTM ZONA 17 S		CIRCUNFERENCIA (cm)	DIÁMETRO (cm)
	ESTE	NORTE		
1	739507	9365581	13	4.1380
2	739499	9365576	21	6.6845
3	739499	9365569	18	5.7296
4	739498	9365564	12	3.8197
5	739500	9365559	19	6.0479
6	739502	9365559	18	5.7296
7	739502	9365555	20	6.3662
8	739501	9365554	27	8.5943
9	739499	9365552	24	7.6394
10	739497	9365550	28	8.9127
11	739492	9365551	15	4.7746
12	739490	9365553	23	7.3211
13	739486	9365551	16	5.0929
14	739473	9365556	17	5.4113
15	739464	9365557	17	5.4113
16	739454	9365562	11	3.5014
17	739456	9365570	15	4.7746
18	739466	9365566	21	6.6845
19	739478	9365566	17	5.4113
20	739511	9365587	12	3.8197
21	739508	9365589	9	2.8648
22	739504	9365595	21	6.6845
23	739499	9365595	17	5.4113
24	739496	9365597	15	4.7746
25	739496	9365599	14	4.4563
26	739495	9365600	18	5.7296
27	739490	9365600	10	3.1831

Nº ARBOL	COORDENADAS UTM ZONA 17 S		CIRCUNFERENCIA (cm)	DIÁMETRO (cm)
	ESTE	NORTE		
28	739498	9365602	18	5.7296
29	739499	9365603	20	6.3662
30	739503	9365600	27	8.5943
31	739506	9365597	18	5.7296
32	739509	9365591	17	5.4113
33	739512	9365594	16	5.0929
34	739511	9365598	19	6.0479
35	739510	9365599	12	3.8197
36	739507	9365601	12	3.8197
37	739503	9365603	21	6.6845
38	739503	9365606	11	3.5014
39	739500	9365606	14	4.4563
40	739500	9365608	22	7.0028
41	739480	9365570	15	4.7746
42	739488	9365568	23	7.3211
43	739493	9365567	15	4.7746
44	739495	9365573	19	6.0479
45	739498	9365579	14	4.4563
46	739494	9365585	18	5.7296
47	739485	9365591	16	5.0929
48	739479	9365596	15	4.7746
49	739474	9365602	16	5.0929
50	739466	9365600	13	4.1380
51	739458	9365602	15	4.7746
52	739458	9365604	11	3.5014
53	739458	9365607	12	3.8197
54	739462	9365611	11	3.5014
55	739459	9365613	14	4.4563
56	739459	9365618	17	5.4113

Nº ARBOL	COORDENADAS UTM ZONA 17 S		CIRCUNFERENCIA (cm)	DIÁMETRO (cm)
	ESTE	NORTE		
57	739465	9365614	14	4.4563
58	739467	9365612	14	4.4563
59	739472	9365608	10	3.1831
60	739475	9365607	11	3.5014
61	739478	9365599	14	4.4563
62	739511	9365605	9	2.8648
63	739513	9365602	15	4.7746
64	739515	9365603	17	5.4113
65	739519	9365606	9	2.8648
66	739516	9365605	14	4.4563
67	739518	9365607	12	3.8197
68	739514	9365611	16	5.0929
69	739513	9365610	21	6.6845
70	739512	9365612	13	4.1380
71	739509	9365614	17	5.4113
72	739507	9365614	17	5.4113
73	739479	9365600	23	7.3211
74	739470	9365618	12	3.8197
75	739472	9365624	15	4.7746
76	739471	9365626	20	6.3662
77	739474	9365629	18	5.7296
78	739474	9365636	14	4.4563
79	739473	9365639	23	7.3211
80	739471	9365639	27	8.5943
81	739472	9365639	26	8.2760
82	739476	9365637	26	8.2760
83	739500	9365618	16	5.0929
84	739501	9365618	17	5.4113
85	739502	9365617	14	4.4563

Nº ARBOL	COORDENADAS UTM ZONA 17 S		CIRCUNFERENCIA (cm)	DIÁMETRO (cm)
	ESTE	NORTE		
86	739504	9365617	13	4.1380
87	739504	9365621	22	7.0028
88	739511	9365616	18	5.7296
89	739513	9365614	16	5.0929
90	739513	9365612	16	5.0929
91	739517	9365609	12	3.8197
92	739520	9365610	14	4.4563
93	739521	9365613	12	3.8197
94	739479	9365637	16	5.0929
95	739482	9365640	14	4.4563
96	739480	9365646	21	6.6845
97	739479	9365646	13	4.1380
98	739482	9365644	22	7.0028
99	739485	9365644	16	5.0929
100	739486	9365645	18	5.7296
101	739485	9365650	14	4.4563
102	739486	9365650	23	7.3211
103	739486	9365649	21	6.6845
104	739489	9365654	17	5.4113
105	739493	9365654	23	7.3211
106	739495	9365654	10	3.1831
107	739498	9365651	14	4.4563
108	739501	9365649	14	4.4563
109	739506	9365648	19	6.0479
110	739507	9365645	15	4.7746
111	739509	9365644	16	5.0929
112	739510	9365640	21	6.6845
113	739513	9365638	12	3.8197
114	739514	9365615	16	5.0929

Nº ARBOL	COORDENADAS UTM ZONA 17 S		CIRCUNFERENCIA (cm)	DIÁMETRO (cm)
	ESTE	NORTE		
115	739507	9365618	22	7.0028
116	739509	9365618	17	5.4113
117	739507	9365622	21	6.6845
118	739505	9365622	23	7.3211
119	739514	9365638	13	4.1380
120	739516	9365637	18	5.7296
121	739520	9365634	23	7.3211
122	739522	9365630	21	6.6845
123	739522	9365631	12	3.8197
124	739526	9365632	14	4.4563
125	739526	9365631	23	7.3211
126	739527	9365631	15	4.7746
127	739528	9365632	22	7.0028
128	739531	9365637	20	6.3662
129	739523	9365617	14	4.4563
130	739527	9365623	10	3.1831
131	739524	9365625	10	3.1831
132	739525	9365626	11	3.5014
133	739521	9365628	9	2.8648
134	739518	9365631	18	5.7296
135	739514	9365635	14	4.4563
136	739517	9365634	12	3.8197
137	739517	9365635	10	3.1831
138	739529	9365640	21	6.6845
139	739529	9365640	12	3.8197
140	739529	9365645	14	4.4563
141	739529	9365646	23	7.3211
142	739529	9365647	15	4.7746
143	739527	9365649	24	7.6394

Nº ARBOL	COORDENADAS UTM ZONA 17 S		CIRCUNFERENCIA (cm)	DIÁMETRO (cm)
	ESTE	NORTE		
144	739527	9365651	14	4.4563
145	739527	9365653	13	4.1380
146	739528	9365654	12	3.8197
147	739525	9365658	10	3.1831
148	739520	9365633	18	5.7296
149	739520	9365632	16	5.0929
150	739524	9365629	11	3.5014
151	739524	9365626	15	4.7746
152	739522	9365625	10	3.1831
153	739525	9365625	12	3.8197
154	739526	9365626	20	6.3662
155	739525	9365630	15	4.7746
156	739528	9365628	14	4.4563
157	739529	9365626	13	4.1380
158	739524	9365658	21	6.6845
159	739523	9365659	18	5.7296
160	739524	9365661	21	6.6845
161	739525	9365660	16	5.0929
162	739526	9365661	15	4.7746
163	739527	9365661	15	4.7746
164	739527	9365662	23	7.3211
165	739529	9365662	16	5.0929
166	739527	9365663	18	5.7296
167	739527	9365664	23	7.3211
168	739525	9365666	15	4.7746
169	739524	9365668	10	3.1831
170	739520	9365670	11	3.5014
171	739517	9365672	22	7.0028
172	739509	9365670	14	4.4563

Nº ARBOL	COORDENADAS UTM ZONA 17 M		CIRCUNFERENCIA (cm)	DIÁMETRO (cm)
	ESTE	NORTE		
173	739508	9365671	32	10.1859
174	739510	9365673	23	7.3211
175	739513	9365674	19	6.0479
176	739519	9365676	14	4.4563
177	739523	9365676	17	5.4113
178	739495	9365656	15	4.7746
179	739494	9365654	10	3.1831
180	739496	9365654	17	5.4113
181	739499	9365652	14	4.4563
182	739498	9365651	16	5.0929
183	739502	9365646	16	5.0929
184	739501	9365644	16	5.0929
185	739504	9365641	12	3.8197
186	739504	9365641	17	5.4113
187	739507	9365640	12	3.8197
188	739506	9365638	12	3.8197
189	739524	9365675	16	5.0929
190	739523	9365672	18	5.7296
191	739525	9365669	10	3.1831
192	739527	9365666	14	4.4563
193	739528	9365664	18	5.7296
194	739528	9365661	23	7.3211
195	739533	9365660	15	4.7746
196	739533	9365656	11	3.5014
197	739533	9365653	15	4.7746
198	739534	9365652	14	4.4563
199	739534	9365651	12	3.8197
200	739535	9365647	11	3.5014
201	739534	9365643	15	4.7746

Nº ARBOL	COORDENADAS UTM ZONA 17 M		CIRCUNFERENCIA (cm)	DIÁMETRO (cm)
	ESTE	NORTE		
202	739531	9365642	13	4.1380
203	739530	9365642	17	5.4113
204	739534	9365643	20	6.3662
205	739530	9365640	18	5.7296
206	739528	9365640	23	7.3211
207	739526	9365639	15	4.7746
208	739524	9365640	11	3.5014
209	739523	9365641	14	4.4563
210	739523	9365641	17	5.4113
211	739521	9365643	20	6.3662
212	739519	9365641	23	7.3211
213	739522	9365640	15	4.7746
214	739527	9365636	8	2.5465
215	739531	9365634	13	4.1380
216	739533	9365636	17	5.4113
217	739538	9365648	20	6.3662
218	739538	9365648	18	5.7296
219	739504	9365633	18	5.7296
220	739504	9365631	17	5.4113
221	739504	9365633	16	5.0929
222	739504	9365639	14	4.4563
223	739501	9365640	20	6.3662
224	739500	9365642	23	7.3211
225	739497	9365646	14	4.4563
226	739497	9365647	18	5.7296
227	739496	9365647	25	7.9577
228	739496	9365653	18	5.7296
229	739540	9365648	15	4.7746
230	739541	9365650	20	6.3662

Nº ARBOL	COORDENADAS UTM ZONA 17 S		CIRCUNFERENCIA (cm)	DIÁMETRO (cm)
	ESTE	NORTE		
231	739542	9365651	16	5.0929
232	739544	9365653	11	3.5014
233	739545	9365655	17	5.4113
234	739545	9365656	19	6.0479
235	739546	9365658	20	6.3662
236	739547	9365659	26	8.2760
237	739545	9365661	15	4.7746
238	739545	9365664	13	4.1380
239	739544	9365670	17	5.4113
240	739547	9365671	11	3.5014
241	739549	9365675	18	5.7296
242	739550	9365675	10	3.1831
243	739550	9365675	20	6.3662
244	739489	9365646	13	4.1380
245	739492	9365645	14	4.4563
246	739492	9365644	17	5.4113
247	739499	9365638	17	5.4113
248	739498	9365636	14	4.4563
249	739500	9365634	41	13.0507
250	739502	9365632	17	5.4113
251	739504	9365629	21	6.6845
252	739504	9365629	21	6.6845
253	739505	9365627	15	4.7746
254	739504	9365624	22	7.0028
255	739501	9365627	14	4.4563
256	739502	9365629	22	7.0028
257	739497	9365630	13	4.1380
258	739497	9365632	15	4.7746
259	739498	9365633	17	5.4113

Nº ARBOL	COORDENADAS UTM ZONA 17 S		CIRCUNFERENCIA (cm)	DIÁMETRO (cm)
	ESTE	NORTE		
260	739497	9365622	14	4.4563
261	739491	9365615	21	6.6845
262	739493	9365610	21	6.6845
263	739495	9365609	11	3.5014
264	739488	9365604	17	5.4113
265	739589	9365703	11	3.5014
266	739589	9365712	15	4.7746
267	739590	9365718	20	6.3662
268	739589	9365722	14	4.4563
269	739574	9365705	14	4.4563
270	739548	9365686	22	7.0028
271	739546	9365688	10	3.1831
272	739548	9365691	18	5.7296
273	739548	9365693	22	7.0028
274	739549	9365695	14	4.4563
275	739494	9365622	22	7.0028
276	739490	9365621	16	5.0929
277	739492	9365624	11	3.5014
278	739490	9365623	13	4.1380
279	739488	9365627	14	4.4563
280	739486	9365630	18	5.7296
281	739485	9365630	18	5.7296
282	739482	9365629	24	7.6394
283	739485	9365628	17	5.4113
284	739487	9365624	14	4.4563
285	739544	9365697	11	3.5014
286	739542	9365697	13	4.1380
287	739541	9365696	15	4.7746
288	739538	9365694	18	5.7296

Nº ARBOL	COORDENADAS UTM ZONA 17 S		CIRCUNFERENCIA (cm)	DIÁMETRO (cm)
	ESTE	NORTE		
289	739578	9365688	11	3.5014
290	739592	9365688	10	3.1831
291	739532	9365686	17	5.4113
292	739528	9365684	22	7.0028
293	739524	9365684	10	3.1831
294	739522	9365682	17	5.4113
295	739489	9365611	17	5.4113
296	739488	9365615	10	3.1831
297	739487	9365617	11	3.5014
298	739487	9365616	13	4.1380
299	739484	9365616	14	4.4563
300	739522	9365680	8	2.5465
301	739523	9365677	10	3.1831
302	739524	9365676	13	4.1380
303	739520	9365678	17	5.4113
304	739515	9365676	16	5.0929
305	739512	9365675	17	5.4113
306	739512	9365671	13	4.1380
307	739507	9365668	22	7.0028
308	739506	9365667	19	6.0479
309	739504	9365668	17	5.4113
310	739483	9365613	14	4.4563
311	739482	9365611	14	4.4563
312	739481	9365612	41	13.0507
313	739484	9365613	20	6.3662
314	739483	9365609	25	7.9577
315	739488	9365608	32	10.1859
316	739489	9365607	14	4.4563
317	739492	9365603	15	4.7746

Nº ARBOL	COORDENADAS UTM ZONA 17 S		CIRCUNFERENCIA (cm)	DIÁMETRO (cm)
	ESTE	NORTE		
318	739494	9365602	22	7.0028
319	739489	9365598	14	4.4563
320	739500	9365667	10	3.1831
321	739499	9365665	12	3.8197
322	739498	9365663	10	3.1831
323	739498	9365661	25	7.9577
324	739492	9365659	22	7.0028
325	739466	9365616	18	5.7296
326	739463	9365615	19	6.0479
327	739463	9365608	22	7.0028
328	739467	9365600	23	7.3211
329	739472	9365594	15	4.7746
330	739485	9365608	13	4.1380
331	739480	9365612	13	4.1380
332	739477	9365612	16	5.0929
333	739478	9365614	10	3.1831
334	739474	9365614	35	11.1408
335	739475	9365611	13	4.1380
336	739475	9365610	14	4.4563
337	739476	9365609	15	4.7746
338	739478	9365607	14	4.4563
339	739480	9365605	12	3.8197
340	739489	9365600	12	3.8197
341	739490	9365600	18	5.7296
342	739479	9365589	20	6.3662
343	739482	9365579	22	7.0028
344	739485	9365569	17	5.4113
345	739487	9365561	15	4.7746
346	739493	9365557	13	4.1380
347	739494	9365556	10	3.1831
348	739496	9365555	11	3.5014
PROMEDIO				5.2457

Nota: Elaboración propia

Tabla 13.

Mediciones del DAP de las plantas de guaba tomadas en campo

Nº ARBOL	COORDENADAS UTM ZONA 17 M		CIRCUFERENCIA (cm)	DIÁMETRO (cm)
	E	N		
G ₁	739502	9365579	32	10.1859
G ₂	739502	9365558	43	13.6873
G ₃	739481	9365550	48	15.2788
G ₄	739587	9365714	56	17.8253
G ₅	739457	9365558	35	11.1408
G ₆	739464	9365571	32	10.1859
G ₇	739470	9365560	52	16.5521
G ₈	739479	9365570	77	24.5098
G ₉	739497	9365572	67	21.3267
G ₁₀	739478	9365595	62	19.7352
G ₁₁	739496	9365605	61	19.4169
G ₁₂	739498	9365602	108	34.3774
G ₁₃	739503	9365597	64	20.3718
G ₁₄	739507	9365596	93	29.6028
G ₁₅	739518	9365609	44	14.0056
G ₁₆	739464	9365600	40	12.7324
G ₁₇	739458	9365613	60	19.0985
G ₁₈	739471	9365610	60	19.0985
G ₁₉	739480	9365596	97	30.8760
G ₂₀	739474	9365639	73	23.2366
G ₂₁	739507	9365611	83	26.4197
G ₂₂	739509	9365616	52	16.5521
G ₂₃	739508	9365614	79	25.1464
G ₂₄	739513	9365616	70	22.2816
G ₂₅	739511	9365616	80	25.4647
G ₂₆	739490	9365653	65	20.6901
G ₂₇	739526	9365638	45	14.3239

G₂₈	739526	9365638	58	18.4619
G₂₉	739530	9365645	40	12.7324
G₃₀	739526	9365670	72	22.9183
G₃₁	739543	9365657	51	16.2338
G₃₂	739523	9365678	52	16.5521
G₃₃	739578	9365689	41	13.0507
G₃₄	739584	9365701	28	8.9127
G₃₅	739497	9365651	42	13.3690
PROMEDIO				18.7530

Nota: Elaboración propia

Tabla 14.

Datos y coordenadas tomadas en campo, durante el muestreo de la hojarasca

Nº MUESTRA	PESO PRESCO (kg)	CORDENADAS UTM ZONA 17M	
		ESTE	NORTE
H₁	0.481	739521	9365623
H₂	0.543	739475	9365550
H₃	0.808	739498	9365623
H₄	1.116	739464	9365567
H₅	1.085	739533	9365658
H₆	1.725	739472	9365621
H₇	1.616	739496	9365593
H₈	0.582	739527	9365656
H	1.515	739541	9365683
H₁₀	0.817	739580	9365692

Nota: Elaboración propia

Tabla 15.

Datos de campo del muestreo de suelo para calcular la densidad aparente.

Nº MUESTRA	PESO FRESCO (g)	CORDENADAS UTM ZONA 17M	
		E	N
D₁	183	739513	9365619
D₂	191	739472	9365585
D₃	190	739513	9365650
D₄	210	739482	9365611
D₅	182	739492	9365568
D₆	168	739555	9365689
D₇	215	739480	9365644
D₈	190	739515	9365674
D₉	185	739547	9365663
D₁₀	193	739583	9365707

Nota: Elaboración propia

Tabla 16.

Datos del muestreo del suelo para la aplicación del método de Walkley Black

MUESTRA Nº	CORDENADAS UTM ZONA 17M	
	E	N
W₁	739486	9365579
W₂	739488	9365620
W₃	739507	9365660
W₄	739571	9365697



Figura 6. Sistema agroforestal de café asociado con guaba



Figura 7. Delimitación de la parcela agroforestal "Mirasol Café"

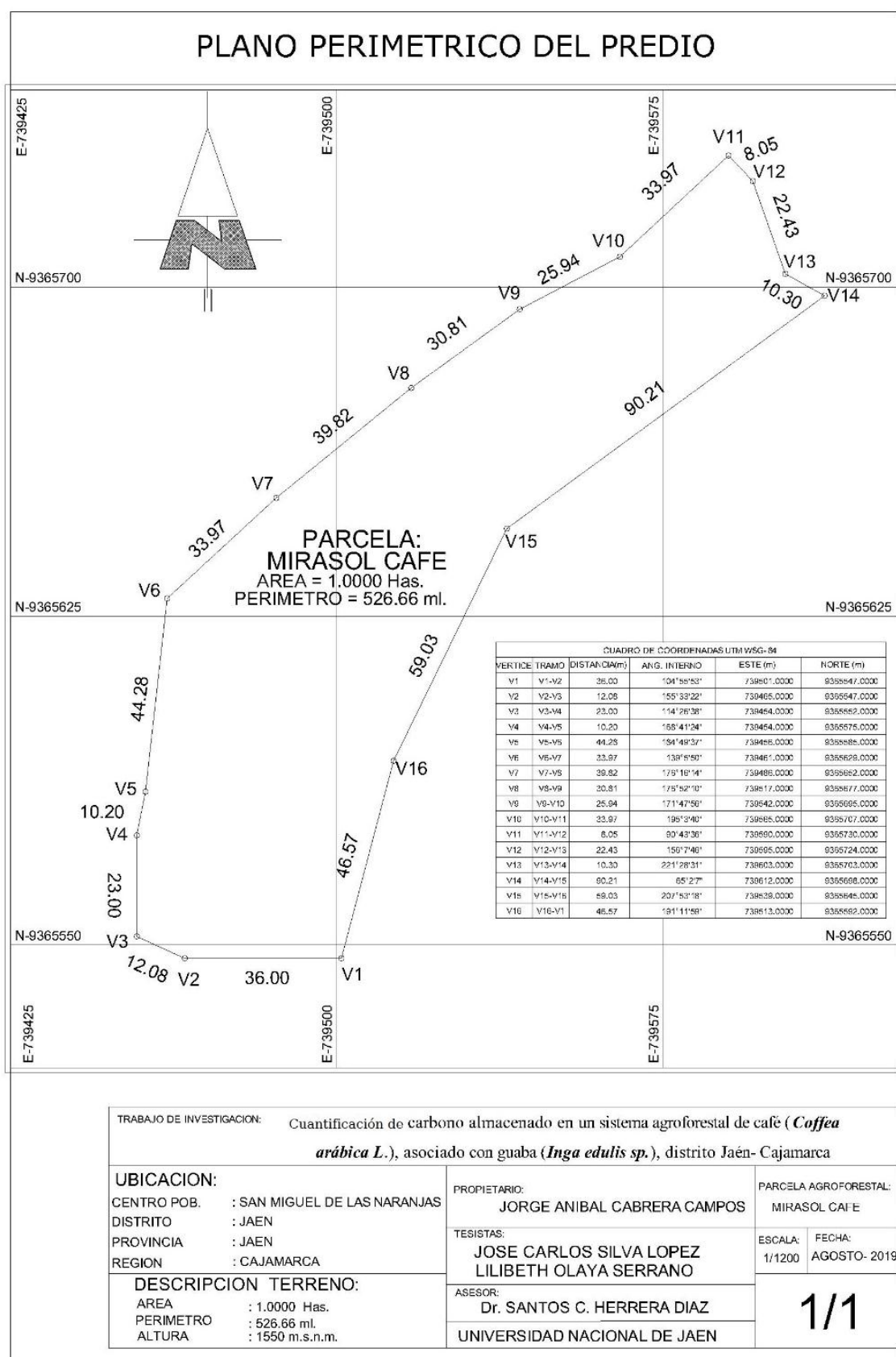


Figura 8. Plano perimétrico del predio “Mirasol café”



Figura 9. *Medición del D de las plantas de café a 15 cm sobre el suelo*



Figura 10. *Medición del DAP de las plantas de guaba a 1.30 m sobre el suelo..*



Figura 11. Arrojo al azar del marco muestreador de 0.25 m² para recolectar la muestra de hojarasca



Figura 12. Recolección de la hojarasca dentro del marco muestreador



Figura 13. *Obteniendo el peso fresco de la sub muestra (200g) y el PFT*



Figura 14. *Excavación del suelo para muestreo de manera horizontal y calcular la densidad aparente*



Figura 15. *Recolección de la muestra del suelo para el cálculo de la densidad aparente.*



Figura 16. *Obtención de la muestra de suelo, usando un cilindro de 100 cm³.*



Figura 17. Muestreo del suelo a 20 cm de profundidad, para ser evaluado por el método de Walkley Black.



Figura 18. Muestra de suelo obtenida a 20 cm de profundidad.

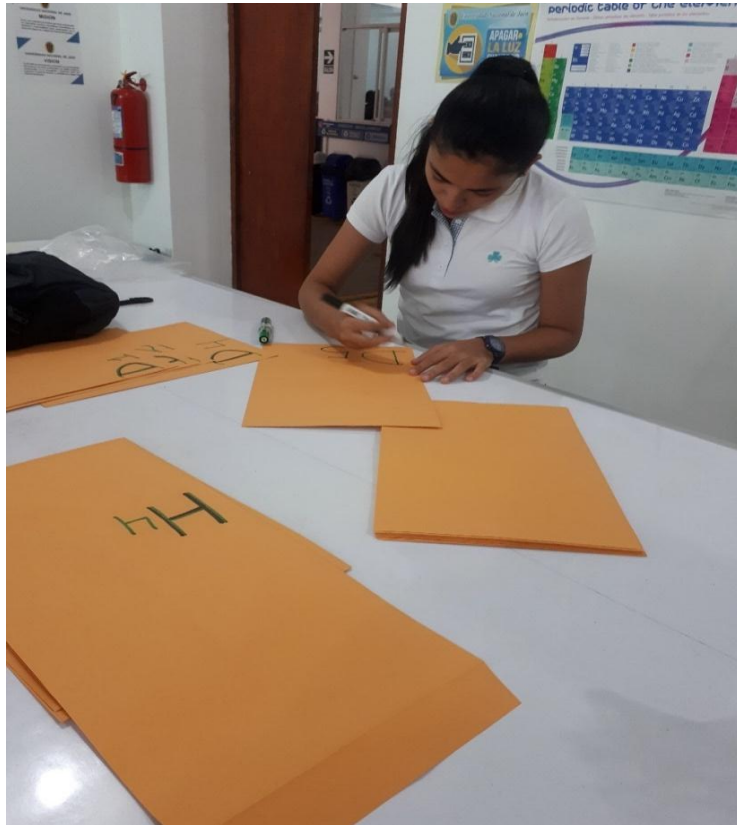


Figura 19. Rotulando los sobres de papel para secar las muestras de suelo y hojarasca en la estufa obtenidas en campo, en el laboratorio de la UNJ.



Figura 20. Cambio de muestras traídas desde campo a bolsas de papel en el laboratorio de la UNJ.



Figura 21. Secado en la estufa de las muestras de hojarasca a 60 °C, hasta obtener peso constante, en el laboratorio de la UNJ.



Figura 22. Secado en la estufa de las muestras para el cálculo de la densidad aparente a 105 °C, hasta obtener peso constante, en el laboratorio de la UNJ.



Figura 23. Secado en estufa de las muestras de suelo para ser evaluado por el método de Walkley Black, a 55 °C durante 3 días, en el laboratorio de la UNJ.



Figura 24. Peso de una muestra de hojarasca (previo tareo), luego de obtener el peso constante, en el laboratorio de la UNJ.

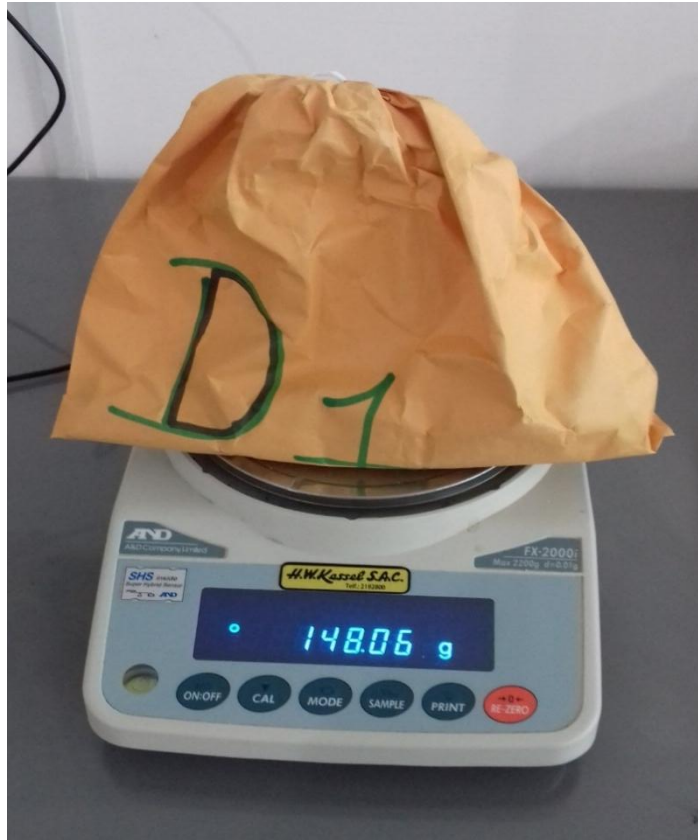


Figura 25. Peso de una muestra de suelo (previo tareo), para calcular la densidad aparente, luego de obtener el peso constante, en el laboratorio de la UNJ.



Figura 26. Tamizado de las muestras de suelo (2 mm), luego de ser secado, para ser evaluado por el método de Walkley Black



Figura 27. Resultados de la muestra de suelo analizada por el método de Walkley Black, en el laboratorio Oikoslab S.A.C



Figura 28. Reactivos utilizados para analizar las muestras de suelo mediante el método de Walkley Black, en el laboratorio de Oikoslab S.A.C



Figura 29. Procedimiento para la digestión del carbono, en el laboratorio de Oikoslab S.A.C



Figura 30. Valoración del exceso de dicromato, en el laboratorio de Oikoslab S.A.C



Figura 31. Todas las muestras de suelo y hojarasca recolectadas en campo